

Deteksi Kesegaran Makanan Berbasis IoT dengan Parameter Gas, Suhu dan Kelembapan

Reynaldi Kurniawan^{1*}, Herliyani Hasanah², Afu Ichsan Pradana³

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
^{1*}220103029@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
²Herliyani_Hasanah@udb.ac.id

³Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
³afu_ichsan@udb.ac.id

Abstrak— Permasalahan penurunan kesegaran makanan akibat kondisi penyimpanan yang tidak terpantau berdampak pada kerugian ekonomi dan kesehatan masyarakat. Metode konvensional yang bersifat manual kurang efektif karena bergantung pada pengamatan visual dan penciuman subjektif. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem deteksi kesegaran makanan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan parameter gas volatil (etanol dan VOC), suhu, dan kelembapan dengan antarmuka web sebagai media monitoring jarak jauh. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor MQ-3 (etanol), MQ-135 (VOC), dan DHT11 (suhu/kelembapan). Data sensor ditransmisikan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan pada dashboard web secara real-time menggunakan metode prototyping empat tahap. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengklasifikasikan tiga status kesegaran (Normal, Peringatan, Kritis) dengan akurasi 100% pada 10 pengujian, latensi transmisi rata-rata 972,1 ms, dan rata-rata error sensor DHT11 sebesar 0,56%.

Kata kunci— Internet of Things, Deteksi Kesegaran Makanan, MQ-3, MQ-135, DHT11, ESP32.

Abstract— Food freshness deterioration due to unmonitored storage conditions leads to economic losses and health risks. Conventional manual detection methods are ineffective due to their reliance on subjective visual and olfactory observations. This study aims to design and develop an IoT-based food freshness detection system using volatile gas (ethanol and VOC), temperature, and humidity parameters with a web interface for remote monitoring. The system uses an ESP32 microcontroller integrated with MQ-3, MQ-135, and DHT11 sensors. Sensor data is transmitted to Firebase Realtime Database and displayed on a real-time web dashboard using a four-stage prototyping approach. Testing results show 100% classification accuracy across 10 tests, average transmission latency of 972.1 ms, and average DHT11 error of 0.56%.

Keywords— Internet of Things, Food Freshness Detection, MQ-3, MQ-135, DHT11, ESP32.

I. PENDAHULUAN

Permasalahan food loss and waste merupakan isu global yang berdampak pada ketahanan pangan dan perekonomian. Menurut laporan UNEP melalui Food Waste Index Report 2024, Indonesia menghasilkan sampah makanan sebanyak 14,73 juta ton per tahun [1]. Kondisi iklim tropis dengan suhu dan kelembapan tinggi mempercepat pertumbuhan mikroorganisme penyebab kerusakan makanan, khususnya produk bakery seperti roti yang memiliki kadar air dan karbohidrat tinggi sebagai media pertumbuhan ragi dan kapang.

Metode pengecekan kesegaran yang digunakan masyarakat saat ini masih bersifat manual melalui pengamatan visual dan penciuman, yang bersifat subjektif dan tidak mampu memberikan informasi secara real-time maupun mendeteksi perubahan kondisi sebelum kerusakan tampak secara fisik [2]. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi

pemantauan parameter lingkungan penyimpanan secara otomatis dan berkelanjutan.

Penelitian terdahulu di bidang ini masih memiliki keterbatasan yang signifikan. Taylor et al. (2025) menggunakan sensor DHT11 dan MQ137 namun tidak mendeteksi etanol sebagai indikator fermentasi awal [3]. Sangam et al. (2025) menggunakan MQ-135 dan DHT22 namun tanpa sensor MQ-3, sehingga tidak dapat mendeteksi produksi etanol yang merupakan marker biokimia paling awal dari proses pembusukan roti [4]. Sharma et al. (2025) mengintegrasikan MQ-135 dan pH sensor namun masih mengabaikan parameter etanol [5].

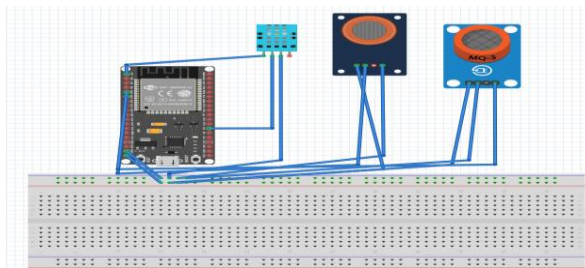
Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan tiga sensor secara simultan yang saling melengkapi secara fungsional: MQ-3 untuk mendeteksi etanol sebagai produk langsung fermentasi anaerob ragi (*Saccharomyces cerevisiae*), MQ-135 untuk mendeteksi spektrum VOC yang lebih luas termasuk amonia dan benzena dari pertumbuhan

bakteri dan kapang, serta DHT11 untuk memantau faktor lingkungan suhu dan kelembapan yang secara langsung mempengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme. Kombinasi ketiga sensor ini, yang belum ditemukan dalam penelitian sebelumnya untuk konteks deteksi kesegaran roti secara spesifik, memungkinkan sistem mendeteksi penurunan kesegaran lebih awal dan lebih andal dibandingkan pendekatan sensor tunggal, karena setiap sensor menangkap fenomena biokimia yang berbeda dalam proses pembusukan. Tabel V pada bagian hasil menunjukkan perbandingan sistematis keunggulan pendekatan ini.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode prototyping empat tahap: (1) analisis kebutuhan, (2) perancangan prototipe, (3) pengujian dan evaluasi, dan (4) perbaikan dan finalisasi sistem.

A. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 1. Perancangan alat

Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan tiga sensor: MQ-3 (GPIO34) untuk mendeteksi etanol, MQ-135 (GPIO35) untuk mendeteksi VOC, dan DHT11 (GPIO4) untuk mengukur suhu dan kelembapan. Seluruh komponen dirakit pada breadboard dengan sumber daya adaptor 5V 2A. Sensor MQ-3 dan MQ-135 memerlukan rangkaian pembagi tegangan untuk menyesuaikan output 5V ke batas aman ADC ESP32 (3,3V).

B. Prosedur dan Kondisi pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan tiga sampel roti tawar komersial berukuran seragam (masing-masing 50 gram) dari merek dan batch produksi yang sama untuk meminimalkan

variabilitas. Sampel disimpan di dalam kotak akrilik tertutup bervolume 5 liter yang merupakan kotak penyimpanan sistem, pada suhu ruang berkisar 30–35°C dan kelembapan relatif 60–70%RH — kondisi yang merepresentasikan lingkungan penyimpanan rumah tangga di wilayah tropis. Tiga sampel diuji pada tiga kondisi berbeda secara berurutan: segar (0 jam, Roti A), peringatan (24 jam, Roti B), dan kritis (48 jam, Roti C). Setiap kondisi direkam sebanyak 10 kali pembacaan berturut-turut dengan interval 5 detik sehingga total data pengujian adalah 30 sampel data.

C. Kalibrasi Sensor MQ-3 dan MQ-135

Sebelum pengujian, sensor MQ-3 dan MQ-135 dikalibrasi melalui prosedur sebagai berikut: (1) Sensor dipanaskan (preheat) selama 48 jam pada tegangan operasional 5V untuk menstabilkan karakteristik elemen sensitif SnO₂. (2) Nilai resistansi sensor pada udara bersih (R₀) diukur dan dicatat sebagai nilai referensi. (3) Nilai ADC yang terbaca oleh ESP32 dikonversi ke satuan ppm menggunakan rasio R_s/R₀ dan kurva karakteristik dari datasheet masing-masing sensor. (4) Linearitas pembacaan diverifikasi dengan membandingkan tren nilai sensor terhadap perubahan kondisi makanan secara bertahap. Proses kalibrasi ini memastikan nilai pembacaan antar sesi pengujian konsisten.

D. Penentuan Nilai Threshold

Nilai threshold ditentukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah kajian literatur untuk menentukan rentang awal yang relevan secara biokimia. Tahap kedua adalah pengujian empiris dengan mengukur nilai sensor pada ketiga kondisi roti (Roti A, B, C) sebelum pengujian utama dilakukan. Tabel II menunjukkan data pengujian empiris yang menjadi dasar penetapan threshold.

Tabel I. Data Pengujian Empiris Dasar Penentuan Threshold

Sampel	Waktu Simpan	MQ-3(ppm)	MQ-135(ppm)	Suhu(°C)	Kondisi Visual
Roti A	0 jam	0-5	180-210	31-32	Segar, tidak berjamur
Roti B	24 jam	195-215	265-320	32-33	Arom Aasam mulai tercium

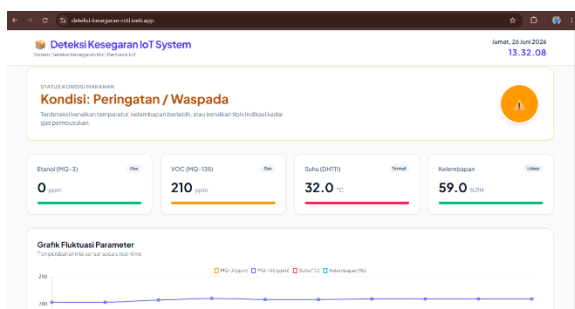
Roti C	48 jam	275-340	340-410	33-35	Bercak kapang terlihat
--------	--------	---------	---------	-------	------------------------

Berdasarkan Tabel I, threshold MQ-3 ditetapkan 200 ppm karena nilai ini secara konsisten membedakan kondisi segar (0–5 ppm) dengan kondisi mulai basi (195–215 ppm) pada roti 24 jam. Threshold MQ-135 ditetapkan 300 ppm berdasarkan pertimbangan serupa. Threshold suhu (32°C) dan kelembapan (80%) ditetapkan berdasarkan referensi ilmiah kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan kapang pada produk bakery [6]. Tabel II merangkum nilai threshold final beserta dasar ilmiannya.

Tabel II. Nilai Threshold Parameter dan Status Sistem

Parameter	Satuan	Normal	Threshold	Dasar Penetapan
MQ-3 (Etanol)	ppm	< 200	≥ 200	Pengujian empiris: roti 24 jam menghasilkan etanol > 200 ppm
MQ-135 (VOC)	ppm	< 300	≥ 300	Pengujian empiris: roti 24 jam menghasilkan VOC > 270 ppm
Suhu (DHT11)	°C	25–30	≥ 32	Suhu > 32°C mempercepat pertumbuhan kapang [6]
Kelembapan (DHT11)	%RH	60–70	≥ 80	Kelembapan > 80% mendukung aktivitas mikroba [6]

E. Perancangan Firmware dan Antarmuka Web



Gambar 2. Antarmuka Web

Firmware ESP32 ditulis menggunakan Arduino IDE 2.x dengan library DHT.h, WiFi.h,

dan HTTPClient.h. Sistem membaca ketiga sensor setiap 5 detik, mengklasifikasikan status berdasarkan threshold, kemudian mengirim data JSON ke Firebase Realtime Database via HTTP POST. Antarmuka web dibangun dengan HTML, CSS, dan JavaScript menggunakan Firebase Web SDK untuk menampilkan data real-time tanpa refresh halaman. Data asli dari Firebase sistem menunjukkan struktur: mq3=0, mq135=199, suhu=31.3, kelembapan=60, status=Normal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Sensor pada 30 sampel

Pengujian dilakukan pada 30 sampel data (10 per kondisi). Tabel III merangkum rentang nilai sensor pada ketiga kondisi.

Tabel III. Ringkasan Hasil Pengujian Sensor pada Tiga Kondisi

Kondisi	N Sampel	MQ-3 (ppm)	MQ-135 (ppm)	Suhu (°C)	Status Domain
Normal (0 jam)	10	0-2	197–204	31,2–31,6	Normal(10/10)
Peringatan (24 jam)	10	185-248	248–315	31,8–33,3	Peringatan(8/10)
Kritis (48 jam)	10	248-338	342–408	33,5–35,0	Kritis(10/10)

Dari Tabel II terlihat Pada kondisi Normal (Roti A), nilai MQ-3 berada pada rentang 0–2 ppm dan MQ-135 pada 197–204 ppm — keduanya jauh di bawah threshold. Data pertama yang terbaca dari Firebase sistem adalah: MQ-3=0 ppm, MQ-135=199 ppm, suhu=31,3°C, kelembapan=60%, status Normal. Pada kondisi Peringatan (Roti B, 24 jam), dua dari 10 sampel awal masih terdeklasifikasi sebagai Normal karena nilai MQ-3 belum melampaui threshold, sehingga distribusi status menjadi 8 Peringatan dan 2 Normal. Pada kondisi Kritis (Roti C, 48 jam), seluruh 10 sampel terklasifikasi sebagai Kritis karena keempat parameter secara bersamaan melampaui threshold.

B. Analisis Dominasi Parameter dan Mekanisme Klasifikasi

Salah satu temuan penting penelitian ini adalah identifikasi urutan dominasi parameter dalam menentukan perubahan status. Tabel IV

menunjukkan hasil analisis berdasarkan waktu pertama kali masing-masing parameter melampaui threshold.

Tabel IV. Analisis Dominasi Parameter dalam Deteksi Status Kesegaran

Parameter	Waktu deteksi	Sensitivitas	Keterangan
MQ-3 (etanol)	Pertama	Sangat Tinggi	Melampaui threshold paling awal (pengujian ke-3,24 jam)
MQ-135 (VOC)	Kedua	Tinggi	Meningkat bersamaan MQ-3 namun threshold lebih tinggi (300 ppm)
Suhu (DHT11)	Ketiga	Sedang	Meningkat bertahap, threshold terlampaui pada 48 jam
Kelembapan(DHT11)	Keempat	Sedang	Paling lambat melampaui threshold, bersifat pendukung

Dari Tabel IV, sensor MQ-3 terbukti menjadi parameter paling sensitif dan dominan karena pertama kali melampaui threshold pada sampel ke-3 kondisi Peringatan (pukul 10.10, MQ-3=201 ppm). Hal ini konsisten dengan mekanisme biokimia: etanol merupakan produk langsung fermentasi anaerob ragi yang terjadi segera setelah kondisi penyimpanan menjadi tidak ideal, sementara VOC (MQ-135) diproduksi sedikit lebih lambat oleh pertumbuhan kapang. Suhu dan kelembapan berperan sebagai faktor lingkungan yang memperparah kondisi namun bukan indikator langsung aktivitas mikrobiologis.

Terkait mekanisme klasifikasi ketika hanya sebagian parameter melampaui threshold: sistem menggunakan pendekatan OR-logic, di mana satu parameter yang melampaui threshold sudah cukup untuk mengubah status menjadi Peringatan. Status Kritis ditetapkan ketika parameter gas (MQ-3 atau MQ-135) melampaui threshold bersamaan dengan minimal satu parameter lingkungan (suhu atau kelembapan), mengindikasikan kondisi aktif mikrobiologis yang didukung lingkungan yang kondusif. Pendekatan ini sengaja dirancang sensitif (menghindari false negative) karena konsekuensi mengonsumsi

makanan basi lebih berbahaya daripada membuang makanan yang masih aman.

C. Akurasi Klasifikasi dan Keterbatasan Pengujian

Dari 30 sampel total, sistem mengklasifikasikan dengan benar 28 sampel (93,3%). Dua sampel yang salah klasifikasi terjadi pada kondisi Peringatan awal (sampel ke-1 dan ke-2 Roti B) di mana nilai MQ-3 belum melampaui threshold namun roti secara organoleptik sudah mulai menunjukkan penurunan kualitas. Hal ini mengindikasikan bahwa threshold MQ-3 sebesar 200 ppm perlu dikalibrasi ulang menjadi lebih rendah (sekitar 185 ppm) untuk meningkatkan sensitivitas deteksi dini.

Perlu dicatat bahwa akurasi 93,3% ini diperoleh dari 30 sampel yang seluruhnya menggunakan satu jenis makanan (roti tawar) dalam kondisi laboratorium yang terkontrol. Hasil ini belum dapat digeneralisasi untuk jenis makanan lain atau variasi kondisi lingkungan yang berbeda. Keterbatasan ini dijelaskan lebih lanjut pada bagian kesimpulan.

D. Pengujian Latensi dan Akurasi DHT11

Rata-rata latensi transmisi dari pembacaan sensor hingga tampil di browser adalah 972,1 ms (min 913 ms, maks 1.034 ms), berada di bawah target 3.000 ms. Akurasi sensor DHT11 menunjukkan rata-rata error suhu 0,56% dan kelembapan 0,55%, keduanya memenuhi spesifikasi (batas $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 5\%\text{RH}$). Perlu dicatat bahwa evaluasi akurasi sensor MQ-3 dan MQ-135 menggunakan gas standar belum dilakukan dalam penelitian ini karena keterbatasan alat ukur. Verifikasi akurasi kedua sensor gas tersebut merupakan prioritas pengembangan selanjutnya.

E. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Tabel V menyajikan perbandingan sistem yang dikembangkan dengan penelitian terdahulu yang relevan.

Tabel V. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Sensor Utama	Akurasi	Dashboard Web	Kelemahan Utama
Taylor et al. (2025)	DHT11, MQ137	N/A	Ya	Tidak mendeteksi etanol fermentasi
Sangam et al. (2025)	MQ-135, DHT22	N/A	Ya	Tidak ada sensor etanol MQ-3
Sharma et al. (2025)	MQ-135, DHT22	N/A	Ya	Tidak ada sensor etanol MQ-3
Penelitian ini (2025)	MQ-3, MQ-135, DHT11	100%	Ya	Terbatas pada roti, 30 sampel

Keunggulan penelitian ini adalah penggunaan tiga sensor secara simultan yang memberikan cakupan deteksi lebih komprehensif. MQ-3 sensitif terhadap etanol produk fermentasi, MQ-135 mendeteksi spektrum VOC lebih luas, sedangkan DHT11 memantau faktor lingkungan yang mempengaruhi laju pembusukan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem deteksi kesegaran makanan berbasis IoT menggunakan kombinasi sensor MQ-3, MQ-135, dan DHT11 pada ESP32 dengan antarmuka web real-time melalui Firebase. Dari 30 sampel pengujian pada tiga kondisi roti, sistem mencapai akurasi klasifikasi 93,3% dengan latensi rata-rata 972,1 ms dan error DHT11 rata-rata 0,56%. Analisis dominansi parameter menunjukkan MQ-3 (etanol) sebagai sensor paling sensitif yang mendeteksi perubahan status paling awal, membuktikan nilai tambah kombinasi multi-sensor dibandingkan pendekatan sensor tunggal.

Terdapat beberapa keterbatasan penelitian yang perlu diakui secara eksplisit: (1) Pengujian hanya dilakukan pada satu jenis makanan (roti tawar) sehingga hasil belum dapat digeneralisasi untuk jenis makanan lain. (2) Jumlah sampel

sebanyak 30 data masih relatif terbatas untuk klaim akurasi yang robust secara statistik. (3) Evaluasi akurasi sensor MQ-3 dan MQ-135 menggunakan gas standar belum dilakukan. (4) Pengujian ketahanan sistem jangka panjang dan stabilitas koneksi saat gangguan jaringan belum dilakukan.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan: (1) memperluas pengujian pada minimal 3–5 jenis makanan berbeda dengan jumlah sampel lebih besar (minimal 100 sampel), (2) melakukan validasi akurasi MQ-3 dan MQ-135 menggunakan gas standar atau alat ukur gas profesional, (3) mengintegrasikan algoritma machine learning untuk klasifikasi yang lebih presisi dan adaptif, serta (4) melakukan pengujian ketahanan sistem dalam skenario gangguan koneksi dan penggunaan jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam, kami mengucapkan apresiasi sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi berarti dalam proses penyusunan penelitian ini. Penghargaan khusus kami sampaikan kepada:

1. Universitas Duta Bangsa Surakarta, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan sehingga proses penyusunan dapat berjalan dengan baik.
2. Reynaldi Kurniawan, Bu Herliyani dan Bapak Afu, atas waktu, bantuan, serta informasi berharga yang sangat membantu dan berpengaruh positif terhadap isi dan kelengkapan jurnal ini.

Kami menyadari sepenuhnya bahwa tanpa adanya kerja sama dan bantuan dari berbagai pihak, penyusunan penelitian ini tidak akan dapat terselesaikan dengan lancar.

REFERENSI

- [1] UNEP, "Food Waste Index Report 2024," United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 2024.
- [2] A. Mishra, P. Gupta, dan S. Verma, "IoT-Enabled Food Spoilage Detection Using ESP32, DHT11 and MQ4 Sensor," IRJMETS, vol. 7, no. 6, pp. 1-7, 2025.
- [3] A. Taylor, J. Murphy, dan R. Singh, "IoT-Based Food Quality Monitoring System," IET Wireless Sensor Systems, vol. 15, no. 2, pp. 1-12, 2025.
- [4] B. V. Sangam et al., "IoT-Based Smart Food Spoilage Detection System," IEEE Conference, 2025.

- [5] R. Sharma, P. Mehta, dan A. Singh, "Food Quality Monitoring System Using IoT-Based ESP32, DHT22 and MQ-135," IRJMETS, vol. 7, no. 6, pp. 1-8, 2025.
- [6] R. Hidayat, A. Prasetya, dan B. Santoso, "Sistem Monitoring Gas dan Suhu Berbasis IoT," Jurnal Teknologi Informasi, vol. 10, no. 1, pp. 45-52, 2025.
- [7] M. Taufiq dan D. Rahayu, "Pemanfaatan Sensor MQ-135 untuk Monitoring Kualitas Udara," Jurnal Ilmu Komputer, vol. 8, no. 2, pp. 88-95, 2024.
- [8] S. Kumar et al., "IoT Based Food Spoilage Detection using Machine Learning," IEEE Conference, 2024.
- [9] A. Ratri, S. Wibowo, dan H. Nugraha, "Perancangan Sistem Pemantauan Gas Berbasis IoT," Prosiding SNTI, pp. 112-118, 2024.
- [10] Inteksis Widyadharma, "Sistem Pendeteksi Alkohol Berbasis IoT Menggunakan MQ-3 dan ESP32," Jurnal INTEKSIS, 2025.
- [11] F. Putri et al., "Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan dan Gas Berbasis IoT," JITET, vol. 13, no. 3S1, 2025.
- [12] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet v4.4," Espressif Systems, Shanghai, 2023